动物饲粮淀粉的消化特性及淀粉酶的应用[1]

马　杰[1]　唐小懿[1]　陈清华[1*]　陈凤鸣[2]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，长沙 410128；2.湖南领道农业环保科技有限公司，长沙，410128）

摘　要：淀粉是动物重要的能量来源，淀粉的利用率决定了动物对能量的利用率。淀粉在饲粮中占比较高且幼龄动物对淀粉的利用率较低，加之幼龄动物肠道内淀粉酶缺乏，进而降低了淀粉利用率，造成能量的浪费。而在饲粮中添加淀粉酶可一定程度提高淀粉的利用率，提高动物生产性能。本文就淀粉的分类，淀粉的结构性质及其对营养物质消化代谢的影响，淀粉的消化代谢与其他养分消化代谢的联动机制，外源淀粉酶在动物上的应用研究等方面进行了综述，旨在为淀粉酶的推广奠定理论基础。

关键词：淀粉；结构性质；消化特性；淀粉酶；调节机制

中图分类号：S816.15

能量对于动物的营养与健康是至关重要的，也是饲料营养价值评定体系中备受关注的营养因素。而淀粉是能量的主要存在形式和主要来源，淀粉的利用率决定了动物对能量的利用率[1]。淀粉的消化利用与淀粉的结构性质以及动物肠道内淀粉消化酶的活性等密切相关[2]。有研究发现，幼龄动物对淀粉的利用率较低，幼龄动物对淀粉的回肠末端消化率较低且不会随年龄的增长而增加，对其食糜进行镜检发现有很大一部分淀粉颗粒未被消化，从而进入后肠发酵，造成能量的损失[3]。也有大量研究表明，畜禽早期肠道内淀粉酶活性很低，甚至有下降的趋势，进而造成畜禽对能量的利用率下降，限制其早期生长[4-7]。在幼龄动物饲粮中添加适量的外源淀粉酶可补充内源淀粉酶的不足，可协助其消化利用淀粉，促进生长[8]。因此，早期动物饲粮中添加外源淀粉酶意义重大。本文就淀粉的分类，淀粉的结构性质及其对

收稿日期：2018-01-23

基金项目：长沙市科技计划项目——畜禽养殖粪污一体化处理技术研究与推广示范（kh1703120）

作者简介：马　杰（1993—），男，陕西汉中人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1030272902@qq.com

*通信作者：陈清华，教授，博士生导师，E-mail: chqh314@163.com

营养物质消化代谢的影响，淀粉的消化代谢与其他养分消化代谢的联动机制，外源淀粉酶的应用研究等方面的研究进行了综述。

1　淀粉的分类

淀粉以颗粒形式广泛存在于植物组织和细胞中，是动物重要的能量来源。根据葡萄糖聚合方式的不同，可分为直链淀粉和支链淀粉。根据营养学分类，可分为快速消化淀粉(rapid digestible starch，RDS)、缓慢消化淀粉(slowly digestible starch，SDS)和抗性淀粉(resisitant starch，RS)[9-10]。RS 根据淀粉来源和抗酶解性不同将其分为 4 种：RS1 指物理包埋淀粉，主要由机械加工而形成；RS2 指 RS 颗粒，因其特殊构象对酶具有高抗性；RS3 指老化淀粉，主要由淀粉糊化后冷却形成；RS4 指改性淀粉，由化学方法或基因改造使其分子结构发生变化而得到[11]。根据淀粉晶型可分为 A 型、B 型和 C 型，A 型淀粉颗粒比较大，直径一般在 10~38 μm，呈透镜状，重量占胚乳总淀粉粒总重量的 70%~80%，但数量少于总淀粉粒的 10%；B 型淀粉粒直径小于 10 μm，呈球形或不规则的多面体，重量小于胚乳总淀粉粒总重量的 30%，而数量却占总淀粉粒数目的 90%以上；C 型淀粉则是 A 型和 B 型淀粉的混合物[12]。淀粉还由结晶区和非结晶区构成，结晶区由支链淀粉形成，非结晶区由直链淀粉构成，它们交替形成淀粉颗粒结构。又有研究者发现，结晶区由直链和支链淀粉共同构成，两者之间还存在氢键连接[13]。

2　淀粉的结构性质及其对营养物质消化代谢的影响

2.1　淀粉的结构性质

淀粉的结构随着直链淀粉含量的增加而发生改变，导致其性质也随着改变。张攀峰等[14]研究发现，随着直链淀粉含量的增加，玉米淀粉的分子质量逐渐减小，分子的均方根旋转半径也随之减小。李志伟等[15]研究表明，随着直链淀粉含量的增加，A 型淀粉粒由饱满光滑、有蜡质光泽的球体或多面体变为皱缩无光泽的不规则多面体，B 型淀粉粒则由饱满光滑的小球体逐渐变为无蜡质光泽的椭圆形，直至扭曲成不规则颗粒。张斌等[16]研究发现，蜡质和普通玉米淀粉属于 A 型淀粉，而高直链(Hylon V和 Hylon VII)玉米淀粉属于 B 型淀粉。普通玉米和蜡质玉米的 SDS 含量较高，而高直链玉米淀粉的 RS 含量大大高于高支链淀粉。银永安等[12]研究发现，不管是 A 型淀粉还是 B 型淀粉，其支链淀粉的含量都大于直链淀粉的含量，只不过在 A 型淀粉中这一差距大，B 型淀粉中这一差距小。淀粉颗粒中直链淀粉含量影响

淀粉的糊化温度和黏度性质，这是由于淀粉颗粒表面的直链淀粉分子对支链淀粉分子的束缚作用，即直链淀粉分子与支链淀粉分子相互缠绕、捆绑，共同穿过整个淀粉分子，抑制淀粉颗粒的糊化和膨胀。当直链淀粉含量较低时，这种束缚作用相对较小，使得淀粉在较低的温度下便膨胀和糊化，同时支链淀粉分子易舒展而导致其黏度较高；随着直链淀粉含量的提高，这种束缚作用更为明显，加之支链淀粉形成的结晶结构使淀粉糊化温度提高。此外，直链淀粉与脂质形成的复合物具有抗酶解作用，也使淀粉颗粒难以糊化[17-18]。

2.2　淀粉的结构对及其营养物质消化代谢的影响

2.2.1　淀粉的消化特性

淀粉结构影响其性质，也影响动物对淀粉的消化。黄强等[19]将玉米淀粉蒸煮后测定其体外消化特性发现，随着直链淀粉含量的增加，RDS 的含量在逐渐降低；除普通玉米 SDS 含量较高外，整体 SDS 含量在逐渐降低；高直链玉米淀粉的 RS 含量较高。Zhang 等[20]报道，天然谷物淀粉水解开始于表面孔隙和通道的扩大，同时从细孔区域向颗粒外部水解，这是所谓的“由内到外”消化模式，这种模式是由于淀粉颗粒从低密度中心到密度较高的基质的分布不均匀造成的，这种消化模式只适用于有毛孔的 A 型淀粉。对于没有毛孔的 B 型淀粉，酶从抗性表面开始消化，即“由外到内”的消化模式，这是 B 型淀粉难消化的原因之一。

2.2.2　不同直链/支链淀粉比值对营养物质消化代谢的影响

直链/支链淀粉比值影响动物对营养物质消化代谢。体外试验表明，玉米的直链/支链淀粉比值与 RS 含量呈极显著的正相关，与可消化淀粉（digestible starch，DS）含量呈极显著负相关；体内试验表明，玉米的直链/支链淀粉比值对仔猪回肠淀粉消化率、消化能及能量消化率的影响极显著[21]。戴求仲等[22]研究发现，饲粮中直链/支链淀粉比值不同会显著影响肉鸡的氨基酸消化率、能量利用率，进而影响其生产性能，且 0.23 为饲粮中直链/支链淀粉的最佳比值。而后又发现，采食直链/支链淀粉比值为 0.11 的饲粮时，血液中葡萄糖和胰岛素浓度变化幅度较大，且降低肉鸡的胴体品质；随着饲粮中直链/支链淀粉比值的增加，血液中葡萄糖和胰岛素浓度变化较为平稳，显著增加后肠乳酸杆菌、双歧杆菌和肠球菌等有益微生物的数量[23]。可能是因为随着饲粮中直链/支链淀粉比值的增加，淀粉的消化速度和葡糖糖释放速度减慢，导致血液中葡萄糖浓度变化幅度较小，而到达后肠可供微生物发酵的碳水化合物含量增加，促进有益微生物的生长；肉鸡腹脂率的提高可能与葡糖糖调控脂肪酸合

成酶的表达有关[21-23]。

饲粮中淀粉来源、组成的不同会影响直链/支链淀粉的比值，而导致其在动物体内的消化程度及能量利用效率不同，进而影响动物的生产性能。采用玉米、糙米、糯米和 RS 作为淀粉来源，试验结果显示，饲喂 RS 组可降低猪生产性能，饲喂玉米组其生产性能最佳；饲喂 RS 组饲粮猪血液中葡萄糖、胰岛素浓度以及胰岛素/葡萄糖比值变化相对其他组较平稳，蛋白质沉积率也较低。

3 淀粉的消化代谢与其他养分消化代谢的联动机制

饲粮中的淀粉进入肠道后由淀粉酶将其分解为葡萄糖，少部分葡萄糖通过葡萄糖转运载体——钠依赖性葡萄糖转运载体 1(SGLT1)和易化葡萄糖转运载体 2(GLUT2)进入血液，大部分则转化为乳酸[24-26]，当葡萄糖过量时便转化为脂肪酸。乳酸的含量与淀粉的消化速度有关[27]。进入血液的葡萄糖导致血液中葡萄糖浓度升高，刺激胰腺分泌胰岛素，胰岛素调节细胞增加对葡萄糖和氨基酸的吸收，促进蛋白质合成，从而降低血液中葡萄糖和氨基酸浓度。吸收过后，当血液中葡萄糖浓度较低时，刺激胰腺分泌胰高血糖素，机体首先分解肝糖原为机体供能，但肝糖原储备有限，当肝糖原不足以满足机体需要时，则动用储备能量，胰高血糖素会促进蛋白质转化为葡萄糖、脂肪转化为甘油和脂肪酸。机体的这种功能方式需要一系列的合成、分解过程，其效率远不及直接由肠道吸收葡萄糖提供能量的效率高[28-29]。因此，高效的能量供应方式是由肠道持续供给葡萄糖，以达到节约氨基酸的作用。

淀粉的结构与消化性能都影响葡萄糖的吸收利用，进而影响能量的利用效率。RDS 能在短时间内释放大量葡萄糖，使血液中葡萄糖和胰岛素浓度大幅度上升，胰岛素峰值持续时间短便迅速下降，导致血液中葡萄糖浓度低于正常范围[30]，不利于葡萄糖的吸收利用，导致脂肪的产生。SDS 则缓慢释放葡萄糖，使得血液中葡萄糖和胰岛素浓度都能保持在一个正常范围内，葡萄糖则被机体持续吸收利用，转化为脂肪的数量减少，氨基酸用于给机体供能以及糖异生的数量减少，增加蛋白质的沉积。淀粉的消化性能也影响氨基酸的吸收，肠道中葡糖糖与氨基酸的吸收类型相似，都需要与钠离子（Na^+）吸附的藕联体转运，因而它们的吸收可能存在竞争，故肠道中高葡萄糖的吸收会抑制氨基酸的吸收[31]。

4 外源淀粉酶在动物上的应用

动物早期由于消化道及胰腺发育不完善，导致肠道内淀粉酶分泌不足，进而导致动物

对淀粉的利用率降低，有相当一部分会进入后肠发酵，造成能量的浪费。外源添加淀粉酶即可弥补这一缺点，外源添加淀粉酶可促进内源淀粉酶的分泌，帮助动物消化淀粉，提高其表观代谢能和养分消化率，降低消化器官指数，进而提高动物生产性能。

4.1 外源淀粉酶的分类及作用

淀粉酶是动物机体分泌的一类帮助动物消化的活性物质，是作用于各种淀粉糖苷键的一类酶的总称。主要的淀粉分解酶包括α-淀粉酶、β-淀粉酶、糖化酶、支链淀粉酶和异淀粉酶。α-淀粉酶作用于α-1,4-糖苷键，将淀粉水解为双糖、寡糖和糊精，只能分解直链淀粉和支链淀粉的直链部分。β-淀粉酶作用于淀粉的β-1,4-糖苷键（支链淀粉分支处），将淀粉水解为双糖、寡糖和糊精。糖化酶水解线性的双糖、寡糖和糊精，产生葡萄糖和果糖，并从淀粉的非还原末端，依次水解α-1,4-糖苷键生成葡萄糖。异淀粉酶作用于α-1,6-糖苷键，生成直链淀粉和糊精[32-34]。

4.2 外源淀粉酶对动物养分消化率及生产性能的影响

在早期动物饲粮中添加外源淀粉酶可以提高动物对能量的利用率、表观代谢能以及养分消化率。Gracia 等[35]研究表明，在肉仔鸡饲粮中添加 47.5 U/kg α-淀粉酶能显著提升 1~4 日龄肉鸡的生产性能，并提高了肠道绒毛高度；这与 Gracia 等[36]早些年的研究结果一致，玉米豆粕饲粮中α-淀粉酶的补充改善了肉仔鸡养分消化率和生产性能。唐德富等[37]也报道，木薯型饲粮中添加 2 500 U/kg α-淀粉酶可促进肉仔鸡 1~21 日龄平均日采食量和平均日增重，提高了淀粉表观消化率和氮存留率，进而促进了饲粮能量的利用率。Gencoglu 等[38]对奶牛的试验表明，饲喂添加淀粉酶的低淀粉饲粮，能够提高饲料转换效率，提高潜在的经济效果，最适淀粉酶水平为 300 U/kg。李建沅等[39]在猪上的试验表明，在玉米、玉米-小麦型的饲粮中添加复合淀粉酶极显著提高了干物质和有机物的消化率，显著提高氮的表观消化率、生物学价值和净利用率。

4.3 外源淀粉酶对动物消化器官指数的影响

也有研究发现，饲粮中添加适宜水平的淀粉酶可促进饲粮中淀粉的消化，减轻动物的消化负担，从而降低其消化器官指数[44-46]。张仕琦等[40]研究发现，玉米-豆粕型饲粮中添加 1 500 U/kg 淀粉酶显著降低了空肠和胰腺器官指数。Zhu 等[41]也研究表明，玉米-豆粕型饲粮中添加含有淀粉酶的酶制剂降低了 7~21 日龄肉鸡胰腺的相对质量，进而间接降低了消化器官指

数，这与蒋正宇等[42]的结果相一致。也有研究表明，饲粮中添加淀粉酶对消化器官指数的影响并不显著[43]。

4.4　外源淀粉酶调节内源淀粉酶分泌的机制

幼龄动物由于内源淀粉酶分泌不足造成淀粉消化吸收受阻，能量利用率降低，导致其生产性能降低。外源添加淀粉酶可与内源淀粉酶协同作用于淀粉，共同分解饲粮中的淀粉，增加消化道中底物浓度，这一信号通过消化道传递给胰腺，由胰腺调节内源淀粉酶的分泌；同时，外源淀粉酶的作用位点与内源淀粉酶略有不同，导致其饲粮结构发生变化，这一信号也通过消化道传递给胰腺，调节其内源淀粉酶的分泌[1,44-45]。此外，外源淀粉酶的添加可协助分解淀粉使葡萄糖释放速度加快，影响体内血液中葡萄糖和胰岛素浓度的变化，通过血液中葡萄糖浓度对胰腺的刺激来调节胰腺淀粉酶 mRNA 的表达，也影响蛋白质的沉积[29,46]。蒋正宇等[47-48]研究发现，玉米-豆粕型饲粮添加外源淀粉酶提高了肠道中淀粉酶活性；但是高剂量会下调胰腺淀粉酶 mRNA 的表达，可能存在负反馈调节。沈水宝等[44]研究表明，玉米-熟全脂黄豆粉型饲粮添加淀粉酶对仔猪胰淀粉酶及空场淀粉酶活性有促进作用。于旭华[49]研究表明，在断奶仔猪饲粮中添加淀粉酶后可提高 2 周后空肠胰淀粉酶的活性。也有学者报道，添加淀粉酶对乌骨鸡小肠胰淀粉酶活性无显著影响[50]。

5　小　结

随着人们对淀粉和淀粉酶的认识逐渐深入，淀粉酶在动物饲粮中得到广泛的应用。研究表明，在动物饲粮中添加适量淀粉酶可一定程度上提高动物对淀粉的利用率，改善其生产性能。但是，过量添加淀粉酶会抑制动物内源淀粉酶的分泌，不利于动物对淀粉的利用，降低其能量利用率，由此推测动物对淀粉的利用率与淀粉酶的添加量存在二次曲线关系。至于在动物消化机能已基本健全时是否要添加淀粉酶还需进一步研究。

参考文献：

[1]　MORAN E T,Jr.Starch digestion in fowl[J].Poultry Science,1982,61(7):1257–1267.

[2]　NOY Y,SKLAN D.Digestion and absorption in the young chick[J].Poultry Science,1995,74(2):366–373.

[3]　BEDFORD M R,AUTIO K.Microscopic examination of feed and digesta from wheat -fed

broiler chickens and its relation to bird performance[J].Poultry Science,1996,75:1–14.

[4] 林厦菁,蒋守群,洪平,等.黄羽肉鸡与白羽肉鸡胃肠道消化酶活性比较研究[J].中国家禽,2017,39(13):26–30.

[5] 王艳玲,杨雪峰,李宏基,等.仔猪断奶前后消化酶活性变化的初步探讨[J].中国畜牧杂志,2005,41(8):14–17.

[6] 张耕,曾子建,李竞.荣昌猪仔猪断乳前后几种消化酶活性变化[J].四川畜牧兽医学院学报,2002,16(2):9–12.

[7] 李昂,郑腾,王宏,等.雏番鸭胰腺和肠道消化酶活性变化规律研究[J].中国畜牧杂志,2004,40(7):14–17.

[8] 蒋正宇,周岩民,王恬,等.外源α-淀粉酶对肉鸡生产性能的影响[J].家畜生态学报,2007,28(4):13–16,22.

[9] ENGLYST H N,KINGMAN S M,CUMMINGS J H.Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J].European Journal of Clinical Nutrition,1992,46 Suppl 2:S33–S50.

[10] LEHMANN U,ROBIN F.Slowly digestible starch-its structure and health implications:a review[J].Trends in Food Science & Technology,2007,18(7):346–355.

[11] 康萍.抗性淀粉的营养研究进展[J].中国饲料,2007(12):15–16,20.

[12] 银永安,齐军仓,李卫华,等.小麦胚乳 A、B 型淀粉粒理化特性研究[J].中国农业科学,2010,43(11):2372–2379.

[13] 杨景峰,罗志刚,罗发兴.淀粉晶体结构研究进展[J].食品工业科技,2007(7):240–243.

[14] 张攀峰,陈玲,李晓玺,等.不同直链/支链比的玉米淀粉分子质量及其构象[J].食品科学,2010,31(19):157–160.

[15] 李志伟,钟雨越,吴权明,等.高直链玉米淀粉的理化特性研究[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2014,42(7):53–60.

[16] 张斌,罗发兴,黄强,等.不同直链含量玉米淀粉结晶结构及其消化性研究[J].食品与发酵工业,2010(8):26–30.

[17] SINGH N,SINGH S,ISONO N,et al.Diversity in amylopectin structure,thermal and pasting

properties of starches from wheat varieties/lines[J].International Journal of Biological Macromolecules,2009,45(3):298–304.

[18] JANE J L.Current understanding on starch granule structures[J].Journal of Applied Glycoscience,2006,53(3):205–213.

[19] 黄强,王婵,罗发兴,等.玉米淀粉的热力学性质与消化性[J].华南理工大学学报（自然科学版）,2011,39(9):7–11.

[20] ZHANG G Y,AO Z H,HAMAKER B R.Slow digestion property of native cereal starches[J].Biomacromolecules,2006,7(11):3252–3258.

[21] 张遨然.玉米中淀粉支/直比及膨化加工对淀粉和能量消化率影响的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2010.

[22] 戴求仲,李湘,张石蕊,等.日粮直/支链淀粉比对黄羽肉仔鸡生产性能和养分利用率的影响[J].动物营养学报,2008,20(3):249–255.

[23] 戴求仲,刘绍伟,李湘,等.饲粮直/支链淀粉比对黄羽肉鸡血液生化指标和后肠微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):904–910.

[24] 江诚,谢俊,陈海峰.葡萄糖转运蛋白的转运机制研究[J].基因组学与应用生物学,2015,34(7):1372–1377.

[25] 王修启,谭会泽,束刚,等.鸡肠道 SGLT1 和 GLUT2 mRNA 表达的组织特异性研究[J].畜牧兽医学报,2006,37(1):12–17.

[26] MITHIEUX G.New data and concepts on glutamine and glucose metabolism in the gut[J].Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care,2001,4(4):267–271.

[27] RIESENFELD G,GEVA A,HURWITZ S.Glucose homeostasis in the chicken[J].The Journal of Nutrition,1982,112(12):2261–2266.

[28] 宾石玉.日粮淀粉来源对断奶仔猪生产性能、小肠淀粉消化和内脏组织蛋白质合成的影响[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2005.

[29] 戴求仲.日粮淀粉来源对生长猪氨基酸消化率、门静脉净吸收量和组成模式的影响[D].博士学位.雅安:四川农业大学,2004.

[30] WOLEVER T M.Dietary carbohydrates and insulin action in humans[J].British Journal of

Nutrition,2000,83 Suppl 1:S97–S102.

[31] 杨秀平,肖向红.动物生理学[M].2 版.北京:高等教育出版社,2009.

[32] 唐小懿,马杰,陈清华,等.淀粉酶在畜禽饲料中的应用研究进展[J].饲料研究,2017(11):4–7.

[33] 缪可嘉,王正祥.淀粉酶系中淀粉结合域的结构和功能的研究进展[J].食品工业科技,2007,28(3):242–245.

[34] BEATTY M K,RAHMAN A,CAO H P,et al.Purification and molecular genetic characterization of ZPU1,a pullulanase-type starch-debranching enzyme from maize[J].Plant Physiology,1999,119(1):255–266.

[35] GRACIA M I,LÁZARO R,LATORRE M A,et al.Influence of enzyme supplementation of diets and cooking-flaking of maize on digestive traits and growth performance of broilers from 1 to 21 days of age[J].Animal Feed Science and Technology,2009,150(3/4):303–315.

[36] GRACIA M I,ARANIBAR M J,LAZARO R,et al.Alpha-amylase supplementation of broiler diets based on corn[J].Poultry Science,2003,82(3):436–442.

[37] 唐德富,史兆国,汝应俊,等.木薯日粮中添加α-淀粉酶对肉仔鸡生产性能和养分消化利用的影响[J].国外畜牧学(猪与禽),2014,34(6):62–64.

[38] GENCOGLU H,SHAVER R D,STEINBERG W,et al.Effect of feeding a reduced-starch diet with or without amylase addition on lactation performance in dairy cows.[J].Journal of Dairy Science,2010,93(2):723–732.

[39] 李建沅,姜建阳,宋春阳.不同淀粉来源饲粮中添加复合淀粉酶对鲁烟白猪养分消化率及氮平衡的影响[J].养猪,2015(5):13–16.

[40] 张仕琦,热合木塔依 •吾布力卡斯木,陈跃平,等.低温α-淀粉酶对青脚麻鸡生长性能和消化功能的影响[J].粮食与饲料工业,2016,12(8):57–60.

[41] ZHU H L,HU L L,HOU Y Q,et al.The effects of enzyme supplementation on performance and digestive parameters of broilers fed corn-soybean diets[J].Poultry Science,2014,93(7):1704–1712.

[42] 蒋正宇,周岩民,王恬.外源α-淀粉酶对肉仔鸡消化器官发育及小肠消化酶活性影响的后续效应[J].中国农学通报,2006,22(10):13–16.

[43] 汪兴玉,袁建敏.添加淀粉酶对肉鸡玉米豆粕日粮能量利用效果的影响[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第七届中国饲料营养学术研讨会论文集.郑州:中国畜牧兽医学会动物营养学分会,2014.

[44] 沈水宝,冯定远.外源酶对仔猪消化系统淀粉酶活性的影响[C]//酶制剂在饲料工业中的应用.北京:中国畜牧兽医学会,2005.

[45] OWSLEY W F,ORR O D,Jr,TRIBBLE L F.Effects of age and diet on the development of the pancreas and the synthesis and secretion of pancreatic enzymes in the young pig[J].Journal of Animal Science,1986,63(2):497–504.

[46] CALL J L,MITCHELL G E,Jr.,LITTLE C O.Response of ovine pancreatic amylase to elevated blood glucose[J].Journal of Animal Science,1975,41(6):1717–1721.

[47] 蒋正宇,周岩民,王恬.外源α-淀粉酶对 21 日龄肉鸡消化器官发育、肠道内源酶活性的影响[J].畜牧兽医学报,2007,38(1):672–677.

[48] 蒋正宇.外源α-淀粉酶对肉鸡消化器官发育、内源酶活性的影响及后续效应的研究[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2006.

[49] 于旭华.外源酶对断奶仔猪消化系统酶活的影响[D].硕士学位论文.广州:华南农业大学,2001.

[50] 奚刚,许梓荣,钱利纯,等.添加外源性酶对猪、鸡内源消化酶活性的影响[J].中国兽医学报,1999,19(3):286–289.

Digestive Characteristics of Animal Dietary Starch and Application of Amylase

MA Jie[1] TANG Xiaoyi[1] CHEN Qinghua[1*] CHEN Fengming[2]

(1. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China*; 2. *Hunan Lingdao Agriculture Environmental Protection Technology Co., Ltd., Changsha* 410128, *China*)

Abstract: Starch is an important source of energy for animals, the utilization rate of starch determines the animal΄ s energy utilization. Starch has a high percentage in diet and low utilization by young animals, and the utilization rate of starch is reduced which leads to energy waste due to

the lack of intestinal amylase in young animals. The addition of amylase in the diet can improve the utilization of starch to a certain extent and then improve the production performance in animal. This review summarizes the classification of starch, the structural properties of starch and its effect on the digestion and metabolism of nutrients, the linkage with other nutrient digestion and metabolism and the application of exogenous amylase in animals which laid the theoretical foundation for the promotion of amylase.

Key words: starch; structural properties; digestive characteristics; amylase; regulatory mechanism

i

---

*Corresponding author, professor, E-mail: chqh314@163.com （责任编辑　武海龙）